



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2019/2020

Nº 38

Aplicación didáctica de modelos dinámicos reales (flumes) y a escala (3D) en el análisis de los procesos dinámicos de formación del relieve.

Julio Garrote Revilla

Facultad de Geología

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto
2. Objetivos alcanzados
3. Metodología empleada en el proyecto
4. Recursos humanos
5. Desarrollo de las actividades
6. Anexos

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Este proyecto de innovación docente (Proyecto INNOVA-Docencia 2019 - N°38) tiene dos grandes objetivos: a) enseñanza de formas y procesos geomorfológicos y b), el aprendizaje de técnicas de obtención de datos, fundamentales en el ámbito laboral.

a) La enseñanza y aprendizaje de la geomorfología y sus procesos asociados requiere de una notable visión tridimensional y espacial. En muchos casos no es sencillo trasladar dicho conocimiento a través de gráficos tradicionales (2D) o fotografías, pues en ellos se pierde la componente tridimensional de las formas en la naturaleza. En ocasiones, aunque el alumno llega a comprenderlas, es difícil para el docente abordar la aplicación real o práctica de la teoría. El trabajo en las salidas de campo es un buen momento, pero con sólo dos excursiones por asignatura no hay posibilidad de analizar la multitud de casos reales que se imparten en clase. Además, la duración de las salidas de campo (de uno o varios días) es ínfimo desde un punto de vista geológico, pues la duración o el tiempo en que tienen lugar la formación de elementos asociados a la dinámica superficial de la tierra es infinitamente mayor; aun siendo aquellos ligados a la dinámica superficial posiblemente de los más rápidos en su formación, pero siempre a una escala de tiempo no asumible.

Prácticamente en el 100% de los casos, los procesos geológicos son esporádicos, puntuales y es muy difícil observarlos en tiempo real. Un buen ejemplo de esto es la migración lateral de un cauce, el estrangulamiento de un meandro o la erosión de un suelo.

En definitiva, la posibilidad de observar de manera directa los procesos de erosión - transporte - sedimentación, que den lugar a la formación de morfo-estructuras, es realmente complicado. Ante esta situación inevitable, la recreación física de procesos y formas geológico-geomorfológicas en el laboratorio, es nuestro primer objetivo y para lograrlo, se ha construido un modelo a escala de sistema fluvial o **flume**. En una escala de tiempo real, se puede modelizar la dinámica de un tramo de río, cambiando las variables principales que controlan un sistema fluvial real, esto es: gradiente, caudal líquido, carga sólida, tamaño de sedimento, etc. Un flume permite al docente enseñar la dinámica fluvial en tiempo real, de los procesos de formación, modificación y destrucción de estructuras morfológicas, y de las formas resultantes que sí podemos observar en la naturaleza de manera estática. Además, como parte del aprendizaje, se incorporará a las asignaturas del Área, el manejo del flume y de los registros cualitativos y cuantitativos resultantes: a) fotografías y videos de los procesos y formas; b) la generación de modelos digitales del terreno mediante fotogrametría y su posterior análisis con SIG, que es una herramienta fundamental para un geólogo y cualquier profesional que se dedique a la evaluación de impacto, ordenación del territorio y análisis de riesgos geológicos. En este caso particular, la combinación de un modelo a escala con las técnicas de captura de datos comentadas ha de permitir la generación de modelos digitales

del terreno seriados en el tiempo, de tal forma que se podrá analizar la evolución de las formas en conjunto: fase inicial o embrionaria, fase de desarrollo, fase de madurez, y fase de erosión o desmantelamiento.

Los alumnos serán guiados por el profesor en todos los pasos del proceso, desde la adquisición de fotografías digitales de detalle encaminadas (y por tanto cumpliendo con los requisitos metodológicos y técnicos) a la generación de modelos 3D, pasando por la elaboración de los modelos digitales (en este caso Modelos Digitales del Terreno o MDTs) a partir de la técnica fotogramétrica, y finalmente el análisis cuantitativo de estos MDTs y de sus diferencias. Por último, la impresión 3D de los modelos (MDTs) añade un valor visual considerable al trabajo, además de servir de material didáctico para las clases. Un modelo 3D impreso permite visualizar desde todos los ángulos las variaciones topográficas ocurridas entre los distintos modelos, y por tanto seguir y “tocar” dichas modificaciones.

Para favorecer la comprensión de los procesos ocurridos y de los instantes temporales en los que se han producido las mayores variaciones en la superficie del río, la generación de videos “time-lapse” ayudará a localizar temporalmente cada uno de los modelos 3D impresos, y por tanto establecer una correlación cronológica entre los mismos. Obviamente, los contenidos digitales, gráficos, vídeos y documentos, formarán parte del contenido de la asignatura, a través del Campus Virtual. Pero también hay en el proyecto una vocación de divulgación más generalista a través de las plataformas y redes sociales, donde el alumnado se mueve con más familiaridad.

2. Objetivos alcanzados

La primera experiencia conjunta del grupo de profesorado del Área de Geodinámica Externa de la Facultad de Geología se ha visto dificultada por varias circunstancias, las cuales pasamos a explicar a continuación.

En primer lugar, la viabilidad del proyecto estuvo en peligro desde el inicio, exactamente desde el momento de su concesión por parte de la Universidad Complutense de Madrid. Y esto es así debido a la insuficiente financiación recibida, ya que de los 1,400€ solicitados solo fueron concedidos 490€. Esta diferencia entre el presupuesto solicitado y el concedido ha limitado extraordinariamente la capacidad de adquisición de los distintos componentes del modelo a escala de río. Así, el 80% del flume está formado por material reciclado, tanto de madera como de metal, lo que ha requerido la búsqueda de muchas soluciones alternativas. Por otro lado, el confinamiento entre los meses de Marzo y Junio de 2020 debido a la COVID-19, así como las posteriores limitaciones de acceso y reunión ha impedido en buena manera el trabajo conjunto de todo el equipo implicado en el proyecto, principalmente de la parte del alumnado que ha tenido menores capacidades de acceso al laboratorio. Pese a las

importantes limitaciones anteriormente apuntadas, se han logrado los principales objetivos del proyecto:

Construcción de un modelo a escala de un sistema fluvial. En este, se puede además modificar algunas de las principales variables que condicionan su funcionamiento, así como la tipología de cauce que se desarrolla (pendiente del cauce, caudal líquido, disponibilidad de sedimento). La reducción de presupuesto ha supuesto que hasta el mes de diciembre de 2020 no se haya podido disponer de arena para hacer funcional el modelo a escala. Ha sido posible gracias a la desinteresada colaboración/donación de estos áridos por parte de la empresa “*Arenas Silíceas Martín S.A.*”, a la cual queremos agradecer su ayuda desinteresada. A pesar de las dificultades expuestas, el flume ha sido construido en su totalidad y ha entrado en pleno funcionamiento, con la generación completa de formas y procesos fluviales que detallaremos en el apartado 5.

Generación de superficies 3D mediante fotogrametría. En este caso, no se ha podido realizar como estaba planificado inicialmente, sobre superficies del propio flume, por las circunstancias descritas anteriormente. Por ello se ha trabajado con superficies reales localizadas en la misma zona de campo que se les muestra a los alumnos de distintas excursiones. Concretamente, se localizó un pequeño canal o reguero que fuese accesible para el conjunto de los miembros del proyecto de Innovación Docente. En primer lugar, se llevó a cabo una sistemática toma de imágenes digitales que cubriera el mismo desde todos los puntos de vista, de tal manera que posteriormente no se encontrasen puntos muertos de visión. Una vez adquiridas las imágenes, se procedió al trabajo en gabinete con las mismas y el software Agisoft PhotoScan. Como se ha mencionado anteriormente, las imágenes deben tener un solape con otras imágenes en todas direcciones. A partir del reconocimiento automático de puntos de control (puntos representados en más de una imagen, y que nos sirven para encajar las distintas imágenes con el objetivo de conformar una sola imagen continua), a los cuales se les asignó unas coordenadas X-Y-Z relativas, se procedió a implementar las técnicas de fotogrametría con el objetivo de lograr una superficie 3D continua. En este paso, y pese a la toma sistemática de imágenes por parte de los alumnos, no se logró una completa cobertura del canal, apareciendo en el proceso de fotogrametría pequeños huecos con falta de información. Estos errores han servido para concienciar a los alumnos de la necesidad de tomar múltiples imágenes, desde todos los ángulos posibles, sobre todo cuando se quiere reproducir superficies que de por sí son muy irregulares, y generan múltiples zonas de sombra.

Las superficies 3D generadas en el paso fueron exportadas a ficheros ASCII, con el objetivo de ser incorporadas al programa QGIS en forma de superficies raster (MDTs). Una vez dentro

de QGIS, la generación de modelos de sombreado del relieve permite mejorar la interpretación de los mismos, y facilita la identificación y cartografía de formas del terreno ligadas a la dinámica fluvial. Además, la extensión “*DEMto3D*” nos permite el generar a partir de un MDT un fichero de tipo “STL”, el cual es la puerta de entrada hacia la impresión 3D.

Una vez obtenido el fichero *.stl, este es incorporado a un programa de impresión 3D (como por ejemplo el programa gratuito CURA), el cual se encarga de generar el laminado del modelo, o descomposición del relieve (en este caso, o de otro tipo de objetos a imprimir) es una serie de láminas que serán las que posteriormente la impresora va imprimiendo y apilando para generar el bloque-modelo 3D.

Todos estos procesos han sido llevados a cabo con éxito en el desarrollo del presente proyecto.

3. Metodología empleada en el proyecto

Las metodologías empleadas en el presente proyecto pueden agruparse en los tres conjuntos de tareas principales desarrolladas: (1) construcción del modelo a escala de río; (2) fotogrametría digital de detalle para la elaboración de modelos digitales 3D; (3) impresión 3D de modelos digitales de superficie del terreno.

3.1. *Construcción del modelo a escala de un río.*

La primera tarea realizada consistió en una búsqueda de documentos y videos que mostraran su funcionamiento y/o construcción (La información ha resultado ser muy escasa). La segunda fase consistió en el diseño de la estructura que debía soportar el modelo, la cual debía ser capaz de bascular en su límite inferior, de tal forma que fuese posible modificar la pendiente de la plataforma. Para modificar la pendiente, se han utilizado gatos hidráulicos para elevar el modelo (debemos tener en cuenta que el peso de arena necesario supera los 500 Kg), y tacos de madera para mantener la pendiente (puesto que los gatos hidráulicos van perdiendo poco a poco la elevación). Toda la estructura ha sido construida a partir de restos de estanterías metálicas y listones de madera provenientes de “palets”. A esta estructura se le debe añadir un cajón impermeable, construido en material Porex. A parte del cajón, es necesario realizar un circuito para el agua desde un depósito inferior, impulsado por una bomba circula por de tuberías de PVC hasta un depósito superior, el cual alimenta de agua al modelo a escala. El agua, después de circular por la superficie con arena, vuelve a verterse al depósito inicial, de tal forma que puede ser nuevamente impulsada. El último elemento imprescindible es la arena, para lo cual hemos utilizado arena silíceas con granulometría entre 0.5-1.5 mm; aunque la arena utilizada en muchos de los modelos que pueden adquirirse en el mercado se utiliza arena de PVC, ya que esto reduce la densidad de la misma y facilita su movilización.

3.2. *Fotogrametría digital de detalle para la elaboración de modelos digitales 3D.*

A partir de la toma seriada de fotografías digitales de un pequeño canal natural (debido a los plazos no ha sido posible implementarlo directamente en nuestro modelo a escala), se ha procedido a la aplicación de técnicas de fotogrametría digital para la generación de MDTs. Para lograr este objetivo se utilizó el software propietario Agisoft PhotoScan (aunque software libre como MeshLab puede llevar a cabo las mismas tareas), el cual permite generar superficies 3D a partir de la combinación de imágenes digitales con solape entre las mismas.

3.3. *Impresión 3D de modelos digitales de superficie del terreno.*

A partir de las superficies 3D y MDTs, se ha utilizado el software libre QGIS para generar los ficheros requeridos por la impresora 3D para poder imprimir los modelos 3D obtenidos en el canal natural comentado en el punto anterior. En este punto, debemos definir la calidad y resolución de nuestra impresión.

4. **Recursos humanos**

El grupo de profesores que integra el equipo humano del proyecto tiene una amplia experiencia docente e investigadora, abarcando en su docencia múltiples asignaturas (Grado y Máster) en las que los objetivos alcanzados en el presente proyecto pueden ser de utilidad para la mejora docente:

Asignaturas en las que se va a aplicar el proyecto:

- Geodinámica Externa (Obligatoria) - 2º Grado en Geología
- Geomorfología (Obligatoria) - 3º Grado en Geología
- Geología Ambiental y Ordenación del Territorio (Optativa) - 4º Grado en Geología
- Geología aplicada a la Biología (Obligatoria) - 1º Grado en Biología
- Riesgo Fluvial, Costero y de Laderas (Obligatoria) - Máster en Geología Ambiental
- Restauración Geomorfológica (Obligatoria) - Máster en Geología Ambiental

Además, el proyecto implicaba también a personal PAS, concretamente un técnico de laboratorio que prestó su ayuda durante el proceso de construcción del modelo a escala de río; y se coordinó también con los miembros del proyecto que eran alumnos para llevar a cabo varias de las tareas iniciales de construcción. Con posterioridad al confinamiento por la COVID-19 de marzo, toda esta coordinación se vio interrumpida por las limitaciones de acceso y reunión. Por este motivo, la fase final de desarrollo de actividades ligadas al proyecto INNOVA ha sido desarrollada principalmente por el conjunto de profesores que conformaban el equipo del proyecto, tratando de implicar de manera aislada e individual a los alumnos, con el fin de evitar el incrementar la exposición a la COVID-19.

Todos estos retrasos en el desarrollo del proyecto ha provocado que el núcleo de tareas de difusión de los resultados (pagina web, redes sociales,...), en la que los alumnos que formaban parte del proyecto tenían una vital importancia (por su mayor relación con este tipo de medios de difusión de información), se haya visto relegada en su desarrollo al nuevo proyecto de INNOVA-Docencia (Convocatoria 2020) concedido al mismo grupo de trabajo. Además en este nuevo proyecto se abordarán las tareas de generación de videos “time-lapse” a partir de la adquisición de las cámaras necesarias para la generación de los mismos.

5. Desarrollo de actividades

Las condiciones sanitarias durante los últimos meses y las limitaciones de espacio han dificultado la cooperación entre los alumnos implicados y el profesorado, durante la primera fase del proyecto, la construcción del río a escala. Los alumnos han colaborado en las tareas de construcción menos peligrosas, como desmontaje y montaje de piezas metálicas. El uso de maquinaria eléctrica, como sierra circular y amoladora, para cortar madera y metal, se ha reservado exclusivamente a los profesores.

La segunda fase del proyecto, el manejo y experimentación con el modelo a escala, es la parte realmente enriquecedora para el alumnado, que va a proporcionar una herramienta de aprendizaje excepcional. El desarrollo de esta segunda etapa se hará a lo largo del curso, integrando la experiencia del trabajo con el modelo a escala con diversas asignaturas. Una vez puesto en funcionamiento, hemos comprobado su enorme potencial y capacidad de aplicación, superando las primeras expectativas. En buena medida esto se debe al tamaño del mismo, mucho mayor de lo habitual en el ámbito académico (2,5 X 1,5 m frente a 1,5 X 0,5 m). Así, la mayor dimensión ha permitido recrear un mayor número de escenarios geomorfológicos y servirá de apoyo en un rango más amplio de la programación docente inicialmente previsto. El alumno tendrá acceso a un amplio conjunto de escenarios geomorfológicos modelizados con el flume, mediante: a) la observación directa y b) la interacción con el escenario. A continuación hacemos una breve descripción de cada uno de ellos.

5.1. Fase de observación directa, supervisada y guiada por el profesor

Delta dominado por el aporte continental: con 2,5 m de longitud, es posible poner en funcionamiento al mismo tiempo la desembocadura de un canal fluvial y una línea de costa. Se puede observar perfectamente la superposición de lóbulos de progradación, así como de la avulsión entre ellos. Una vez vaciado el caudal es posible reproducir en 3D estas formas, bien sea con fotogrametría o con la impresión 3D posterior.

Ríos meandriformes con distintos índices de sinuosidad, en función de la inclinación del flume. La evolución del tren de meandros es suficientemente dinámica para poder observar erosión en las márgenes externas de los canales, sedimentación en la interna, formación de canales secundarios. La migración lateral de los meandros acaba con procesos de estrangulamiento.

Ríos braided completos. Formación de canales secundarios y avulsiones, erosión remontante con identificación precisa de los puntos de inflexión.

Confluencia de dos ríos, con intensificación de los procesos de erosión aguas abajo.

Cambios en el nivel de base, favoreciendo la erosión remontante o la sedimentación aguas abajo.

Llanuras aluviales y procesos de inundación, (con el flume totalmente horizontal). Gracias a la anchura del flume y la capacidad de inclinación cero, se ha podido recrear la expansión de un evento de inundación en una llanura aluvial.

Terrazas fluviales, mediante los pequeños cambios en el nivel de base.

Acuíferos y aguas superficiales. Se puede observar la conexión directa entre agua superficial y subterránea, simulando variaciones estacionales de caudal, desde la sequía hasta la inundación. Este proceso ha sido posible gracias al uso de arena lavada, dado que la ausencia de arcillas y limos acelera los procesos de infiltración.

5.2. Fase de interacción con el flume.

Los alumnos podrán interaccionar y experimentar con el flume de dos maneras: 1) cambiando los factores intrínsecos y extrínsecos en un mismo escenario: Los factores intrínsecos están controlados mediante la inclinación del flume, distribución del sedimento, cambios en la granulometría y nivel de base. Los factores extrínsecos o hidroclimáticos, mediante la variación del caudal. 2) La idea es que planifiquen a priori un escenario de manera teórica y que lo reproduzcan completamente en el flume. A continuación enumeramos algunos ejemplos:

- Un río meandriforme, desarrollado en una llanura de inundación con bajo gradiente se transforma en un río braided mediante el incremento del gradiente. Este proceso se conoce como metamorfosis fluvial y un flume es el lugar perfecto para observarlo.
- Las variaciones de caudal aceleran o ralentizan los procesos de erosión, transporte y sedimentación (cambio en el caudal recirculado).
- Tras un periodo de sequía, (ausencia de caudal), los ríos son perdedores, es decir, recargan el acuífero aluvial. Una vez saturado el subsuelo comienza la escorrentía superficial y los procesos fluviales.
- El exceso de caudal se manifiesta como una riada o inundación. Se puede seguir la secuencia de inundación, con una sucesión de zonas inundables. Se pueden construir

viviendas a escala con la impresora 3D, así como puentes, etc... situarlas en la llanura aluvial y simular una inundación, tal y como se realiza en los modelos hidráulicos teóricos.

5.3. Registro cualitativo

El material audiovisual generado es de un gran valor didáctico porque contiene una dimensión temporal. Está basado en varias tecnologías de las cuales las fotografías seriadas y la construcción de *laptime* son las más asequibles e inmediatas. El registro mediante video es completamente novedoso y sobre todo les permitirá comprender los procesos geomorfológicos manera dinámica. Ambos permiten hacer analogías con las formas y procesos reales que se ven en clase de teoría y en práctica de campo.

5.4. Registro cuantitativo

La generación de modelos digitales a partir de los escenarios es una fase completamente nueva para el alumnado y su potencial educativo es muy destacable, dado que el objetivo final en nuestros programas docentes, es la aplicación práctica (cartografía, cuantificación, etc..). La idea es que los alumnos elaboren modelos de los escenarios geomorfológicos del laboratorio. Con estos modelos se pueden hacer dos tareas: a) utilizarlos como base topográfica de alta resolución, tanto en en modelos hidráulicos virtuales en clase, como una base para practicar la cartografía geomorfológica y de riesgos geológicos. Pueden crear mapas topográficos, de sombreados, hacer medidas de distancias, alturas, pendientes, etc..; b) imprimirlos en tres dimensiones.

5.5. Divulgación

El material audiovisual relacionado con la construcción de la instalación, así como algunos detalles de los primeros escenarios y modelos 3D, está disponible en la web del grupo de investigación, incluida en el Área de Geodinámica Externa

(https://www.ucm.es/geodinamica_externa/-

https://www.ucm.es/geomorfologia_ambiental_riesgos/). A lo largo del curso, los resultados

estarán disponibles a los alumnos en el correspondiente Campus Virtual de cada asignatura del Área. En este caso será un material más detallado, orientado al aprendizaje

especializado, al trabajo del alumno mediante tareas concretas y a la evaluación del mismo.

Finalmente, con un carácter más divulgativo, se irán subiendo a Instagram (aún por definir el nombre definitivo), tanto fotografías y videos del flume como de los resultados. Por

último, dada la singularidad del modelo, creemos necesario publicar en revistas

especializadas de enseñanza (p.e. AEPECT), el proceso de diseño y construcción del

flume, así como de la experiencia educativa que irá resultando en los siguientes meses.

6. Anexos

6.1. Construcción del Flume



Personal PDI y alumnos durante la construcción de la estructura soporte del modelo a escala de río.



Personal PDI y PAS comprobando la efectividad de los gatos hidráulicos utilizados para dar pendiente a la estructura soporte del modelo a escala de río.



Personal PDI comprobando que la estructura soporte del modelo a escala no presentaba desviaciones de pendiente no deseadas.



Personal PDI del proyecto iniciando la colocación del material impermeable (Porex) con el que se construiría el cajón del modelo a escala de río, el cual se situaba por encima de la estructura soporte.



Personal PDI del proyecto durante la fase de construcción del cajón de “Porex”. La estructura-soporte del cajón se reforzó en los laterales con madera, para soportar las futuras presiones laterales de la arena y el agua.



Para generara distintas pendiente en el cauce del río, se estimaron las alturas necesarias en el extremo móvil del modelo y se cortaron tacos de madera para soportar el peso del modelo.



Personal PDI del proyecto iniciando el diseño y colocación del circuito de agua que debe alimentar al modelo a escala de río.



Personal PDI del proyecto transportando la arena necesaria para el modelo.



Imagen del modelo a escala de río conformado por el cajón de “Porex” y el sistema de circulación de agua entre el depósito inferior y el depósito superior.

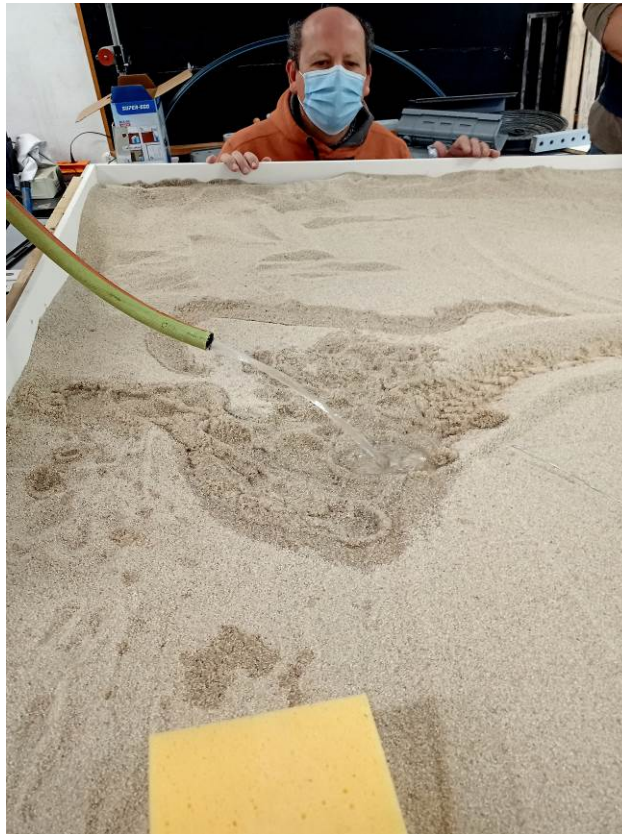


Detalle del sistema de circulación de agua a partir del depósito inferior. La derivación del circuito nuevamente hacia el depósito inferior es necesaria debido a la excesiva potencia de la bomba de agua.



Con todo el sistema o modelo a escala construido, es momento de añadir el sedimento (arena silíceá lavada con tamaños entre 0.5 y 1.2 mm de diámetro).

6.2. Funcionamiento Flume



En un primer instante, hay que saturar todo el sedimento del modelo con agua.



Generar un relieve previo facilita y acelera la observación de cambios en el patrón del cauce



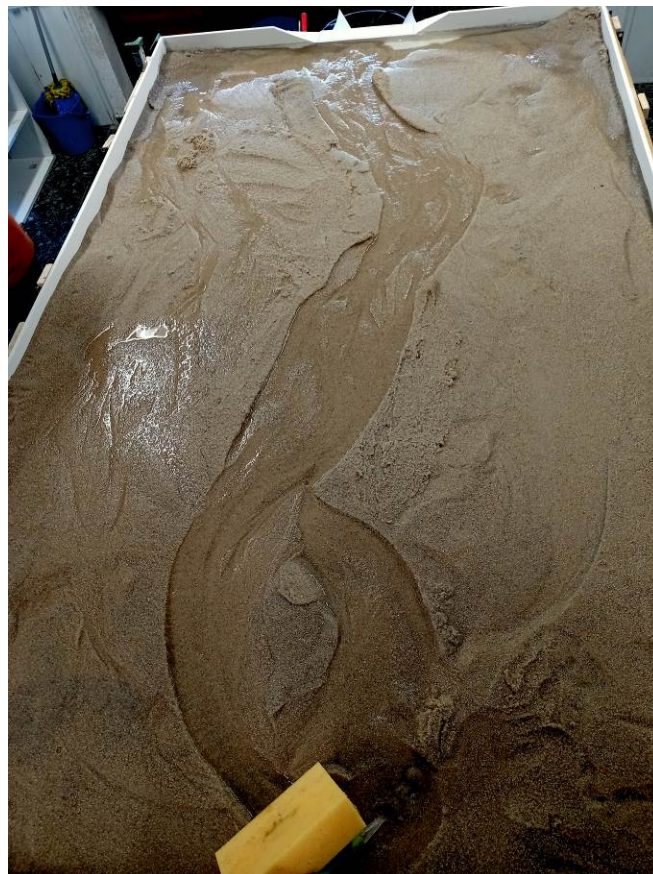
Durante el proceso de saturación en agua del sedimento, empiezan a observarse el desarrollo de formas en superficie asociadas a la circulación de agua.



El agua comienza a fluir por la pre-forma diseñada en el modelo y hay que empezar a registrar gráficamente esos cambios.



Una vez saturado en agua, el modelo comienza a funcionar y se desarrollan las primeras formas fluviales. La erosión de las orillas externas de los meandros son posiblemente el proceso que más rápidamente es observable.



Vista aérea del modelo. Ya puede apreciarse claramente la formación de un cauce muy diferente al de la topografía original del modelo. Y en la parte baja (desagüe), se aprecia la formación de un delta asociado al sedimento transportado por el cauce.



Vista del modelo a escala de río en funcionamiento.



Una vez se interrumpe la circulación de agua, la superficie del modelo muestra múltiples formas asociadas a la dinámica fluvial.

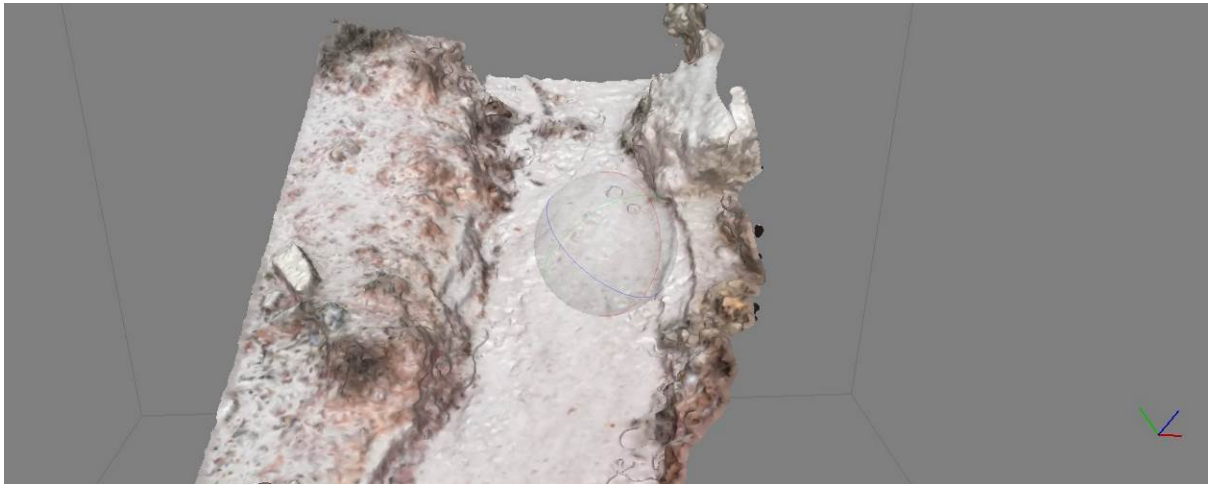


Vista del modelo a escala de cauce en pleno funcionamiento.

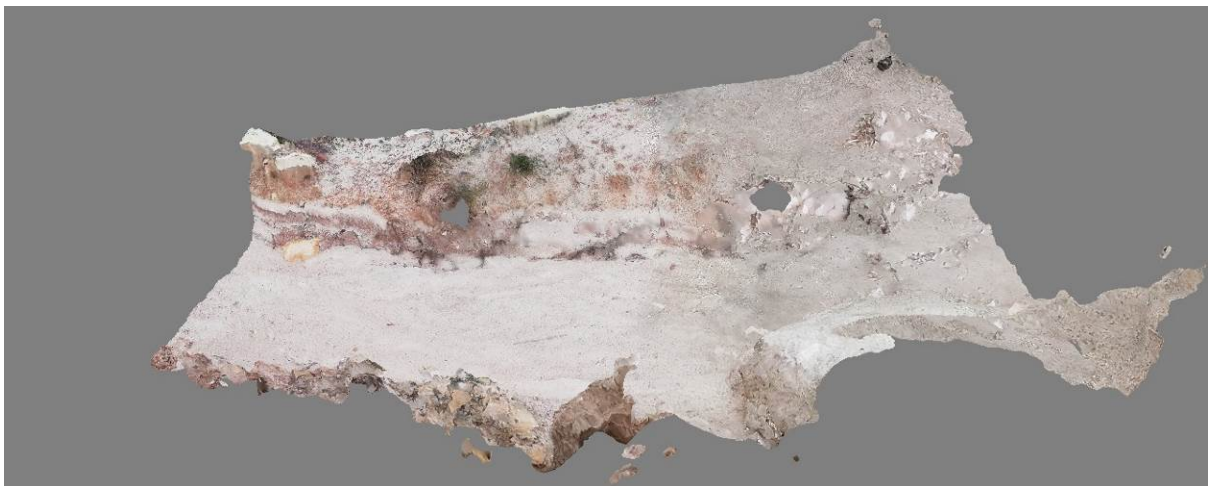


Con el modelo a escala de río, la primera fase del proyecto de Innovación Docente esta finalizada.

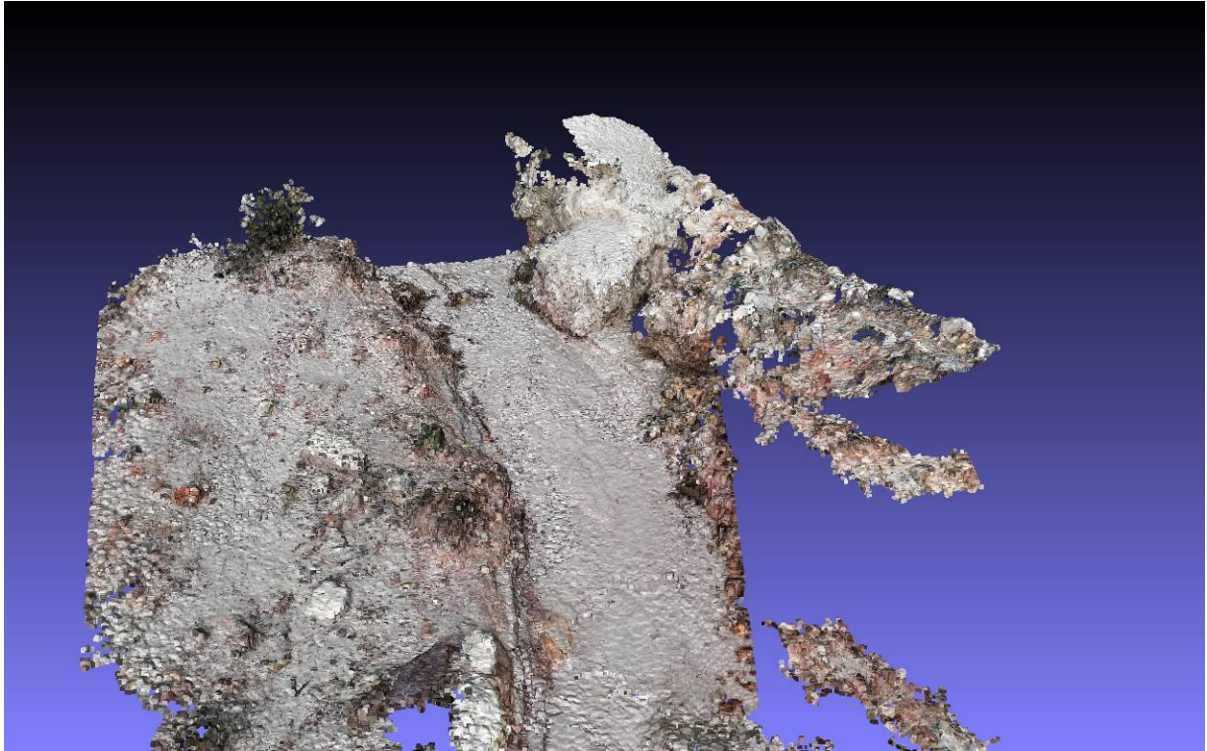
6.3. Fotogrametría Digital



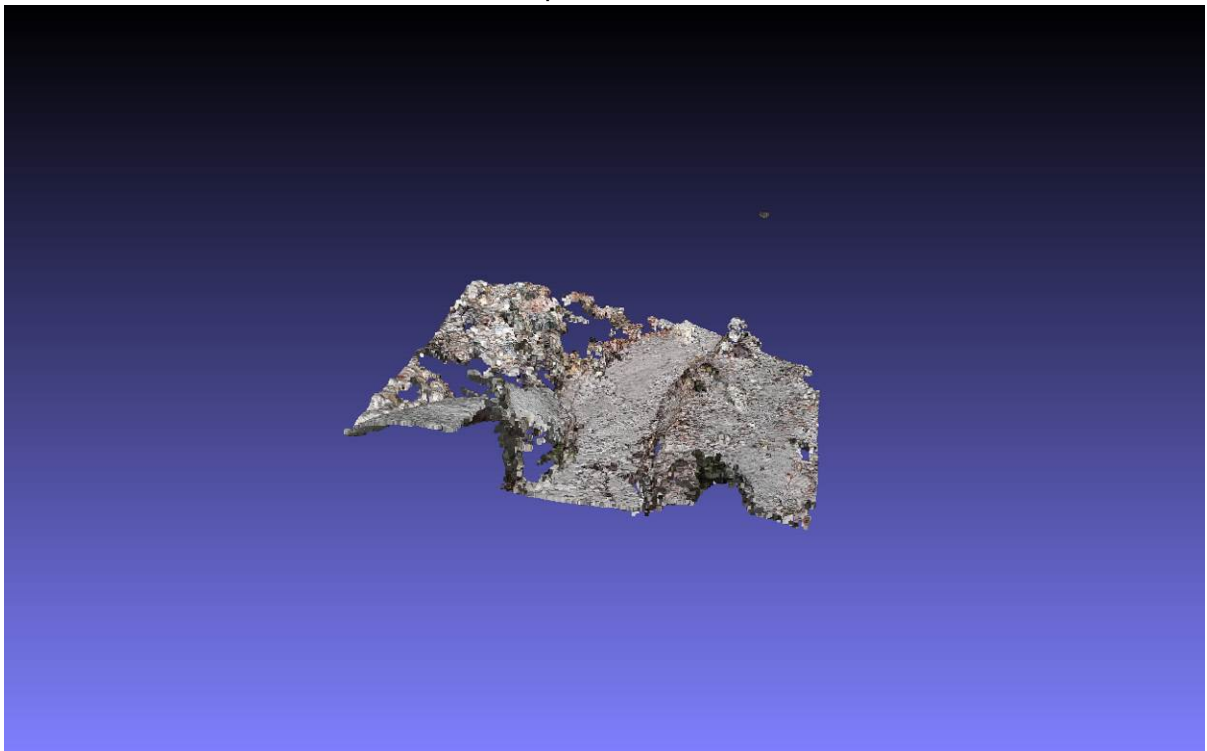
Visión 3D del canal fluvial, obtenida a partir de la fotogrametría digital de detalle.



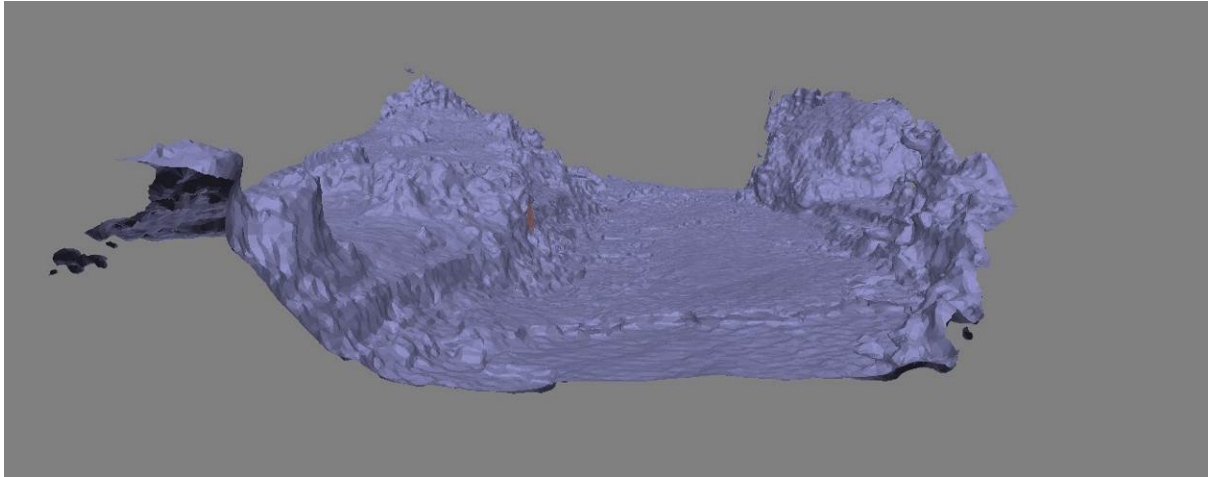
Visión 3D del canal fluvial, obtenida a partir de la fotogrametría digital de detalle. Los huecos grises en el interior del modelo muestran las zonas en las que el proceso de fotogrametría no ha sido capaz de rellenar la imagen 3D.



Otra perspectiva del modelo 3D obtenido mediante fotogrametría digital de detalle. Nuevamente se observan las zonas en las que el software no ha podido rellenar el modelo. Estas zonas serán cerradas mediante interpolación en el entorno de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para obtener una superficie continua que enviar a la impresora 3D.

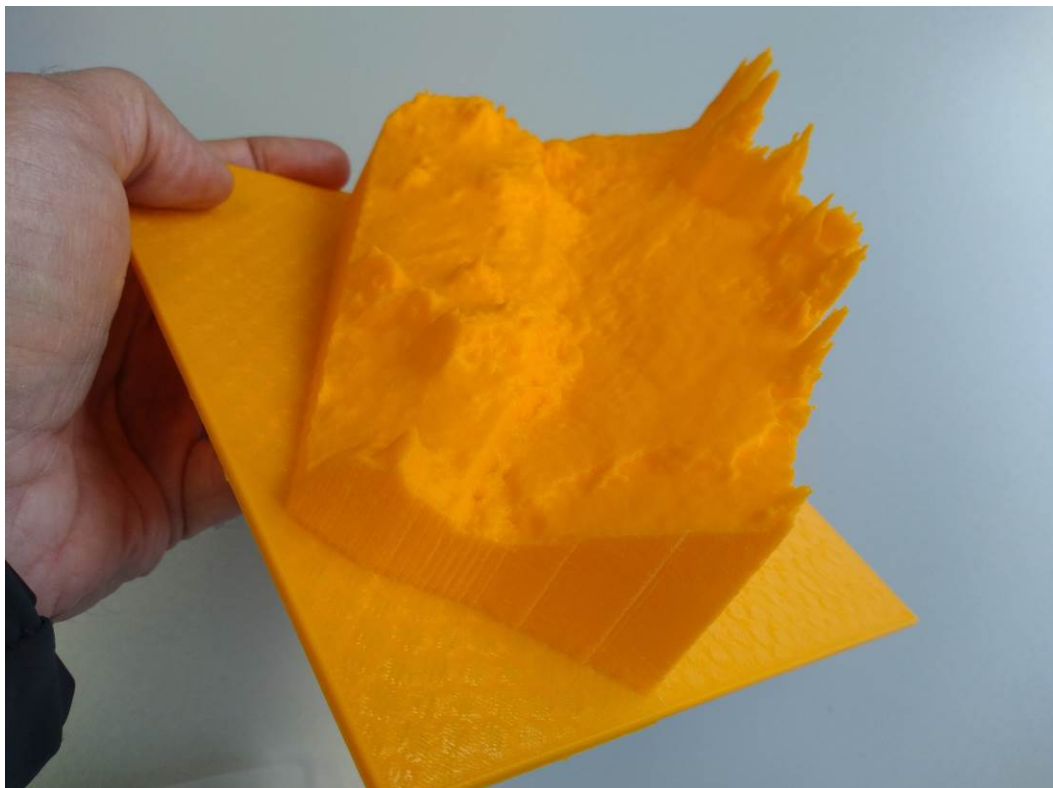


El modelo fue recortado en su extensión dentro del entorno del software de fotogrametría, para eliminar aquellas zonas en las que la falta de datos generaba muchas regiones sin información.



Dentro del propio entorno del software de fotogrametría se puede proceder a un “relleno” de huecos con el objetivo de lograr una superficie casi continua. Sin embargo, ante huecos de tamaño significativo no se logra su cierre, por lo que es necesario proceder a la interpolación de la nube de puntos 3D generados por fotogrametría dentro de un SIG.

6.4. Impresión 3D



Modelo de cauce impreso a partir de los datos generados mediante fotogrametría digital de detalle.



Vista en planta del modelo de cauce 3D impreso a partir de la fotogrametría digital.



Detalle del lecho del canal impreso.



Otra vista de detalle del canal utilizado para aplicar las técnicas de fotogrametría digital de detalle, e impresión de modelo 3D.